

# PROBLEMAS CUANTITATIVOS Y COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS

**Perren, M.A.<sup>1</sup>; Bottani, E.J.<sup>2</sup> y Odetti, H.S.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Argentina

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) (UNLP-CIC-CONICET). La Plata. Argentina

op5meinneu@hotmail.com

hodetti@fbc.unl.edu.ar

ebottani@inifta.unlp.edu.ar

**Resumen.** Los docentes de química a nivel universitario usamos «problemas», habitualmente de tipo cuantitativo, para enseñar y para evaluar. En este trabajo ponemos en duda de que lo hagamos en forma eficaz.

Se muestra, a partir de pruebas diagnósticas de pares de problemas (uno cuantitativo y otro cualitativo similar), que muchos estudiantes pueden resolver los problemas cuantitativos sin una adecuada comprensión conceptual.

**Palabras clave.** Problemas cuantitativos, comprensión de conceptos, nivel simbólico, nivel microscópico, nivel macroscópico.

**Summary.** Chemistry professors at university level make use of «problems», usually of a quantitative type, to teach and evaluate. In this article we question the fact of whether they do it in an efficient way. From diagnostic test of pairs of problems (a quantitative and a similar qualitative one) it is shown that many students can solve quantitative problems without an appropriate conceptual comprehension.

**Keywords.** Quantitative problems, comprehension of concepts, symbolic level, microscopic level, macroscopic level.

## INTRODUCCIÓN

En general se acepta que un *problema* es una situación en la cual se desconoce el camino a seguir para llegar a la solución y un *ejercicio* es cuando se conoce dicho camino por experiencia previa. Así, un problema para un alumno no pasa de ser un simple ejercicio para el docente. Ambos, problemas y ejercicios, resultan una herramienta muy importante para el aprendizaje de los alumnos. En el lenguaje común ambos términos raramente son diferenciados, dado que, en rigor, todo ejercicio ha sido un problema en algún momento para cualquiera que lo intente resolver.

En base a lo que el alumno debe hacer para resolver un problema, éstos se clasifican en cuantitativos, cualitativos y experimentales.

En los problemas experimentales debe llegar a la respuesta recurriendo a experiencias de laboratorio.

En los problemas cuantitativos debe trabajar con datos numéricos, ecuaciones y algoritmos para llegar a resolverlo.

Los problemas cualitativos requieren razonamientos teóricos, sin necesidad de utilizar cálculos numéricos (o bien éstos son mínimos). Lo importante aquí es la interpretación conceptual, que permitirá llegar a la respuesta. Por eso los denominamos a veces problemas conceptuales.

Esta distinción no siempre es nítida y resulta difícil establecer límites. Una tarea compleja de laboratorio requerirá la solución de los tres tipos de problemas y sería deseable que la resolución de un problema cuantitativo esté acompañado del correspondiente conocimiento cualitativo, que exige la comprensión de la situación y un análisis conceptual profundo.

Por otra parte, los conceptos químicos también son cuantitativos, pero el resultado de un problema puede ser tomado como un número carente de significado y así no se advertirá si es absurdo, aunque alguien se lo señale. Lo mismo puede ocurrir con las ecuaciones y fórmulas.

Y esto nos acerca a la distinción entre datos y conceptos que hacen Pozo y Gómez Crespo (1998): «Un dato o un hecho es una información que afirma algo sobre el mundo» (por ejemplo, el punto de ebullición normal del agua es 100 °C). «Pero una cosa es tener un dato, conocer algo como un hecho y otra darle sentido o significado. Comprender un dato requiere utilizar conceptos, es decir, relacionar esos datos dentro de una red de significados...»

Menciona como característica del aprendizaje de hechos o datos la necesidad de hacer una copia más o menos fiel de la información y mantenerla en la memoria, por lo que el proceso involucrado es la repetición. Pero este proceso de repetición no es suficiente para aprender conceptos, ya que se adquiere un concepto cuando se es capaz de dar significado a la información, es decir, cuando se comprende.

Destaca que algo que sucede muy frecuentemente en las aulas es que el docente explica conceptos que el alumno se limita a aprender como simples colecciones de datos.

Durante muchos años la enseñanza de química general en el nivel universitario centró la atención en la resolución de problemas netamente cuantitativos, muy parecidos, en ciertos aspectos, a los ejercicios. El docente da por sobreentendido que, para resolver los problemas, es necesario que el alumno domine técnicas y procedimientos matemáticos, que sea capaz de efectuar un razonamiento que lo lleve a la solución ejerciendo un control consciente sobre el mismo y que domine el aspecto correspondiente a ese tema, tanto en información como en comprensión de conceptos. Si los demás requerimientos están dados, cuanto más profundamente haya elaborado los conceptos, más probabilidad de éxito tendrá en la resolución de los problemas.

En consecuencia, los docentes usamos esos problemas cuantitativos tradicionales para enseñar y para evaluar. Se ha evaluado en gran medida (en algunas ocasiones casi exclusivamente) a través de los mismos.

Sin embargo, no es extraño percibir que hay alumnos que llegan al resultado correcto sin comprender realmente la química involucrada. Es normal encontrar en los cursos de repaso, que se dan habitualmente a los alumnos que no han aprobado la materia, el reclamo, por parte del alumno, del algoritmo para resolver cada problema. Esto puede verse agravado si los problemas se enfocan predominantemente en cuestiones matemáticas.

La elección de este estudio, motivo de una tesis (Perren, 2001), surgió de una inquietud fundamentada en la observación de clases, la experiencia docente, el seguimiento de alumnos, sus exámenes y resultados, el análisis de textos recomendados para alumnos y de conversaciones informales con otros docentes.

Todas las evidencias muestran que se enseña química de forma muy cuantitativa, con una gran carga de resolución de problemas y ejercicios, los cuales, al mismo tiempo, sirven para evaluar. Simultáneamente, la observación en clases pone de manifiesto que la suposición implícita «resolver problemas es equivalente a entender conceptos» no es válida. Una búsqueda bibliográfica demostró que la preocupación por el tema estaba ampliamente extendida y que ha impulsado y generado estudios sobre el conocimiento conceptual de química en varias áreas.

Lin, Cheng y Lawrenz (2000) se refieren a un estudio diagnóstico en China, a nivel de *high school*, donde estudiaron la comprensión de las leyes de gases dirigido a la aplicación de conceptos científicos en situaciones prácticas. Los problemas no requerían la utilización de fórmulas matemáticas, requerían comprensión conceptual de las propiedades y leyes de gases y la habilidad de aplicar ese conocimiento en diferentes situaciones. Encontraron que cerca de un 80% de los estudiantes de un programa avanzado no podía dar buenas explicaciones para responder los problemas conceptuales. Señalan que «los resultados muestran la importancia de la enseñanza y de la evaluación basadas en conceptos.»

Moore (2002) dice que detectar si los estudiantes están aprendiendo química requiere observaciones cuidadosas y profundo análisis. Los tests de problemas numéricos no son suficientes y a veces nos engañan, dándonos una sensación falsa de éxito. Se necesitan mejores medios para saber si los estudiantes entienden y que más alumnos los usen.

Jasien y Oberem (2002) comunicaron los resultados de una investigación acerca de la comprensión de los estudiantes sobre los temas calor y temperatura, particularmente equilibrio térmico, dando evidencias de *misconceptions* sobre los mismos. Los sujetos del estudio representaban diversos grupos con bases físicas y químicas ampliamente variadas.

Mulford y Robinson (2002) presentaron un instrumento compuesto de preguntas no matemáticas basadas en concepciones alternativas encontradas en la literatura de educación en ciencia. Demostraron que los estudiantes llegan a Química General con una variedad de concepciones alternativas y que un curso tradicional de química general produce sólo un ligero aumento en la comprensión de conceptos básicos.

En sentido amplio puede decirse que la enseñanza «tradicional» responde a una visión del conocimiento como un cuerpo ya elaborado que debe ser transmitido por el profesor a la mente del alumno, a través de clases expositivas (apoyado por experiencias y ejercicios repetitivos). El docente provee el conocimiento que el alumno debe reproducir en un examen.

Estas características pueden reconocerse aún ampliamente en la enseñanza universitaria.

Por otra parte, desde el punto de vista constructivista, el aprendizaje ya no es visto como una transferencia del

conocimiento, sino como un proceso de construcción por parte de quien aprende, y la enseñanza se diseña para apoyar y nutrir ese proceso.

Cuando el alumno lee un texto o el profesor se lo explica, construye su propio conocimiento, que es diferente del de otro alumno, porque depende no sólo del material que se le presenta, sino de sus conocimientos y experiencias anteriores.

En la teoría de Ausubel, la idea central es la de aprendizaje significativo. En un contexto constructivista hace referencia a la relación no arbitraria sino sustancial que el alumno establece entre un contenido de enseñanza y las ideas que tiene en su estructura cognoscitiva.

Pero puede suceder que, en esa interacción, se cambie la nueva información al interpretar los conceptos científicos en términos de las ideas previas, sin casi modificarse éstas.

Esta situación es tomada en cuenta por la propuesta de cambio conceptual, según la cual son necesarias ciertas condiciones para desarrollar plena comprensión de concepciones que inicialmente no concuerdan con las creencias de la persona: debe haber insatisfacción por parte del alumno respecto a su concepción actual y debe encontrar la nueva inteligible, plausible y fértil en potencia.

La «metáfora computacional» tiene su origen en la analogía que se supone que existe entre la mente y los programas de computadora. Surge la idea de una serie de fases en la adquisición de la información (filtro, espacio de trabajo, memoria a largo plazo).

El filtro es activado y controlado por lo que ya conocemos y entendemos, para enfocar en lo que consideramos importante.

El estímulo y la información pasan a la memoria de trabajo, donde interactúa consigo misma y con la información proveniente del almacén de memoria a largo plazo para darle sentido. Pero la memoria de trabajo tiene un límite en la cantidad que puede procesar, que incluye el factor tiempo.

Si decidimos guardarla, buscamos en nuestra memoria a largo plazo dónde fijar el nuevo conocimiento o experiencia.

Se han iniciado también movimientos que prestan especial atención al rol de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza.

En fin, tenemos una multitud de modelos. Vale la pena entonces ver dónde estamos parados, analizar ventajas y desventajas de cada propuesta y tomar lo mejor de cada uno.

Según ha señalado Johnstone, una dificultad para aprender química reside en la naturaleza misma de la química, que se desenvuelve al menos en tres niveles:

*Mundo macroscópico:* Involucra la comprensión de fenómenos químicos observables.

*Mundo microscópico:* Donde hacemos interpretaciones de átomos, moléculas, etc.

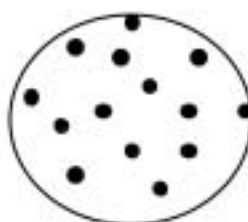
*Mundo simbólico:* Comprende símbolos, fórmulas, ecuaciones, manipulaciones matemáticas, gráficos, etc.

Las denominaciones usadas para cada nivel pueden parecer no adecuadas, pero lo importante es distinguir lo que involucra cada uno, según Johnstone.

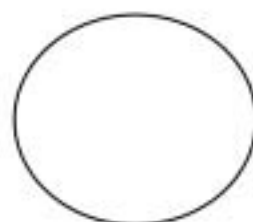
El docente fácilmente puede pasar de un nivel a otro y, de hecho, lo hace cuando explica; esto es fuente de confusión para el alumno.

Nurrenbern y Pickering (1987) estudiaron las leyes de los gases y estequiometría en una investigación llevada a cabo en el programa de química general de la Universidad de Missouri. Los alumnos tenían que resolver dos problemas para cada tema, uno cuantitativo habitual y otro cualitativo, conceptual. Los resultados mostraron que el número de alumnos que podía resolver los problemas tradicionales era mucho mayor que el de los que pudieron responder satisfactoriamente a las preguntas conceptuales. Según estos autores, el patrón de las respuestas muestra que cerca de dos tercios de los estudiantes examinados no entendieron realmente el atributo crítico de los gases, esto es, que ocupan el volumen completo del recipiente. Mientras podían citar el hecho de que los gases tienen un volumen indefinido, no pudieron usar este concepto. Aparentemente existe una dificultad con la idea de reducción de la presión de un gas a volumen constante.

Con estos antecedentes, se realizó una prueba oral previa con algunos de nuestros alumnos, presentándoles primero un problema habitual: hidrógeno gas en un recipiente de volumen constante a una determinada temperatura y presión, y se les solicitó hallar la presión a otra temperatura más baja, aclarándoles que a dicha temperatura el hidrógeno seguía existiendo como gas. A los alumnos que resolvieron bien el cálculo se les hizo notar qué había pasado con la presión y luego se les presentó el mismo problema de carácter conceptual, ideado por Nurrenbern y Pickering. El esquema del problema era el siguiente, donde las moléculas se representaban como •

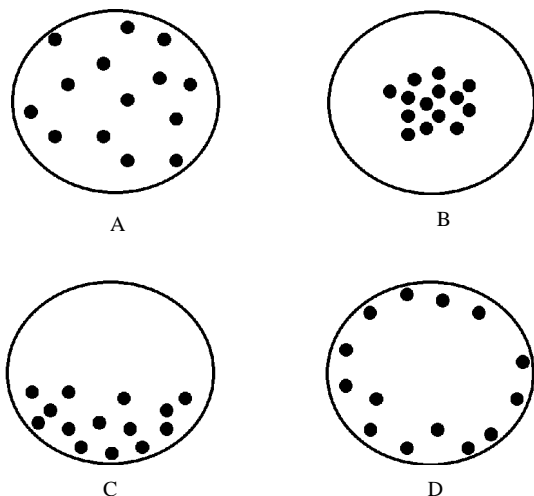


Representaba  
el estado inicial



Representaba  
el recipiente de acero (V cte)

En el problema se solicitaba seleccionar, entre los siguientes diagramas, aquél que mejor representara la distribución de moléculas de hidrógeno a la temperatura inferior (se aclaró que el hidrógeno seguía en estado gaseoso).



Sorprendentemente la respuesta B estaba bastante extendida para el gas a menor temperatura. La justificación más frecuente fue que, cuando la temperatura disminuye, las moléculas se acercan más; al estar en el centro, chocan menos contra las paredes del recipiente, ejerciendo menos presión, hecho que se había evidenciado a través del primer problema.

Eric Mazur (1997) opina que es posible para los estudiantes resolver bien los problemas convencionales por memorización de algoritmos sin comprensión y agrega que es posible para un docente, aun uno experimentado, estar completamente equivocado, pensando que enseñó en forma efectiva. Esta observación, hecha en un curso de física, lleva a pensar que también podría ser válida para nuestros cursos de química.

El propósito de este trabajo fue recoger información objetiva en nuestra facultad para tener una idea cuantitativa de esa suposición y, más importante aún, extraer información cualitativa.

## DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO, ANÁLISIS DE LAS RESPUESTAS Y RESULTADOS

Las pruebas con los alumnos, que constituyen el presente estudio, se efectuaron en la cátedra de Química General de la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas (Universidad Nacional del Litoral, Argentina). La materia se dicta durante el primer semestre y los alumnos pertenecen a las carreras de Bioquímica y Biotecnología.

Cada año ingresan aproximadamente 200-250 alumnos, con niveles muy dispares de conocimientos, por lo que se hizo necesario implementar cursos de nivelación, a

distancia o presenciales, éste último de cuatro semanas de duración.

El curso regular de Química General está compuesto por varias actividades:

- Una clase de teoría por semana, de tres horas, de asistencia no obligatoria. El profesor expone en el pizarrón el tema correspondiente a esa semana.
- Una clase de explicación de trabajos prácticos, a continuación de la teoría, de una hora, de asistencia no obligatoria. Un docente auxiliar expone en el pizarrón.
- Un trabajo práctico de laboratorio semanal, de cuatro horas, de asistencia obligatoria. Los grupos son de 32 alumnos, a cargo de auxiliares. Estos trabajos son totalmente estructurados, para afianzar y aplicar conocimientos relacionados al tema teórico desarrollado esa semana.
- Un coloquio semanal, de tres horas, de asistencia obligatoria. Los grupos son de 32 alumnos, a cargo de los profesores, donde se repasa y comenta lo visto en clase de teoría y, fundamentalmente, se resuelven problemas tradicionales.

Todos los alumnos tuvieron el mismo profesor de teoría y los contenidos y desarrollo de coloquios fueron completamente uniformes, pero con distintos docentes.

Dos o tres días antes de los exámenes se les tomó una prueba correspondiente a algunos temas de los mismos, pero con problemas agrupados en pares: uno tradicional y otro sin ningún contenido matemático, para explorar la comprensión de los conceptos involucrados en el anterior.

Los temas seleccionados para realizar este estudio fueron: ecuaciones químicas y estequiometría, concentración de disoluciones, leyes de gases y difusión gaseosa. En cada oportunidad, las pruebas fueron escritas, se hicieron comentarios previos para una correcta interpretación y se respondió personalmente a las consultas sobre los enunciados durante la resolución. Se les otorgó todo el tiempo que necesitaran; sin embargo, al cabo de una hora todos habían entregado sus pruebas. En todos los casos y con respecto al primer problema de cada par, un problema tradicional, se les aclaró previamente que debían resolverlo, incluyendo las operaciones en la prueba y luego señalar en las opciones la respuesta a la que habían llegado. En el enunciado se solicitaron siempre justificaciones a las respuestas para evitar elecciones al azar o la obtención de respuestas correctas a través de razonamientos incorrectos y para indagar sobre la naturaleza de los errores.

Las respuestas, para cada problema, fueron clasificadas según las siguientes categorías:

- a) excelente comprensión;
- b) buena comprensión;
- c) comprensión parcial;
- d) algún conocimiento o comprensión parcial con errores;
- e) no hay comprensión.

Establecido un nivel de corte, las respuestas pueden clasificarse simplemente como bien o mal.

Para saber si las diferencias eran significativas se utilizó el test de McNemar.

Por cuestiones de espacio se expone con mayor detalle el problema conceptual del primer tema analizado y los otros problemas se tratan en forma resumida (pueden solicitarse más precisiones a los autores).

## Ecuaciones químicas y estequiometría

En la segunda semana del curso de nivelación se desarrollan los temas de ecuaciones químicas y estequiometría. En este momento se percibe que muchos alumnos manejan el tema en un nivel puramente simbólico desconectado del plano real y más aun del microscópico.

Cabe preguntarse si realmente entienden lo que representa una ecuación química, los conceptos de reactivo limitante, reactivo en exceso y cómo se relacionan con la ecuación química. Para muchos alumnos todo parece reducirse a un mero mecanismo de resolución.

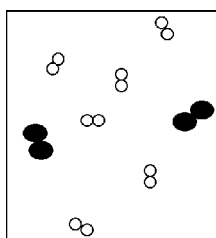
Aquí surge la duda sobre si los alumnos interpretan correctamente lo que ocurre en una reacción química, si son capaces de relacionar la ecuación química con el nivel microscópico y también si advierten que, en todas las ecuaciones químicas que han usado, escriben las cantidades de lo que reacciona y lo que se produce preferentemente como conjunto más sencillo posible de números enteros.

Al preguntar en forma directa, se obtienen respuestas que son repeticiones más o menos textuales de conceptos vertidos por docentes, libros o apuntes. Evidentemente, se deben indagar los conceptos de una manera diferente a la acostumbrada. A continuación se transcribe un par de problemas para este tema.

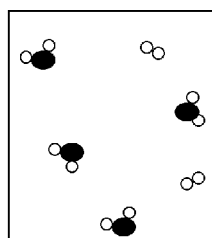
1) Bajo ciertas condiciones, el hidrógeno reacciona con el oxígeno en forma completa para formar agua. Cuando se hacen reaccionar 10 moles de  $O_2$  con un exceso de  $H_2$ , ¿qué masa máxima de agua (en gramos) podría obtenerse? Señale la respuesta entre las siguientes opciones y **justifique** su elección:

- |          |                   |
|----------|-------------------|
| a) 180 g | d) 20 g           |
| b) 360 g | e) 36 g           |
| c) 10 g  | f) Otra respuesta |

2) Suponga que, en un recipiente cerrado, se produjera la siguiente reacción química:



Estado inicial  
en el recipiente



Estado final  
en el recipiente

○ Representan átomos del elemento Y

● Representan átomos del elemento X

○ ○    ● ●    ○ ●    Representan moléculas

¿Cuál de las siguientes opciones elige como ecuación química correspondiente a esta reacción? ¿Por qué?

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| a) $12 Y + 4 X \rightarrow X_4 Y_{12}$      | d) $X_4 + Y_{12} \rightarrow X_4 Y_8$ |
| b) $2 X_2 + 6 Y_2 \rightarrow 4 XY_2 + 4 Y$ | e) $X_2 + 2 Y_2 \rightarrow 2 XY_2$   |
| c) $2 X_2 + 4 Y_2 \rightarrow 4 YX_2$       | f) Otra respuesta                     |

El primer problema del par en adelante se designará en forma genérica como **P**. Se cita en el enunciado que un reactivo está en exceso. Éste es un ejemplo del tipo de problema utilizado para enseñar y para evaluar, sobre el cual cae la sospecha de que se resuelve en forma mecánica.

A continuación se indican los criterios utilizados para las distintas categorías:

- 1) **Excelente comprensión:** Respuestas correctas que incluyen suficientes justificaciones.
- 2) **Buena comprensión:** Debe figurar el proceso matemático (aceptándose un error mínimo de cálculo) y la ecuación química o la explicación del fundamento del cálculo.
- 3) **Comprensión parcial:** Respuestas como la anterior, pero el alumno no incluye la ecuación química o la explicación del fundamento del cálculo.
- 4) **Algún conocimiento o comprensión parcial con errores** (algún error conceptual).
- 5) **No hay comprensión:** No responde, o señala una respuesta y no justifica, o hay varios errores.

Los resultados obtenidos, sobre el total de 70 alumnos, se presentan a continuación:

| Categoría       | 1 | 2  | 3 | 4 | 5  |
|-----------------|---|----|---|---|----|
| Núm. de alumnos | 3 | 38 | 5 | 8 | 16 |

Si se indica con P+ las respuestas correctas (que están comprendidas en las categorías 1, 2 y 3) y con P- las incorrectas (incluidas en el resto de las categorías), se obtiene 46 para P+ y 24 para P-.

Un análisis de las resoluciones muestra que, de los 24 P-, 8 escribieron bien la ecuación química pero fallaron en: hallar la masa molar (3), relaciones estequiométricas en cálculos (3) y por hallar el resultado para el hidrógeno (2). 16 fallaron en: no responder (3), el balance de la ecuación química (2), fórmulas en la ecuación química (6), no escribir la ecuación química y equivocarse en las relaciones, masas molares, fórmulas, etc. (5).

El segundo problema del par, que en adelante se designará en forma genérica como **C**, cita un recipiente (nivel macroscópico) al principio y final de la reacción química; dentro del mismo, símbolos gráficos representan átomos y moléculas (nivel microscópico). Este enunciado requiere del alumno la capacidad de visualizar y entender qué es una representación y que en un sistema real el número de moléculas sería enorme; esta dificultad se allanó aclarándolo previamente. Se solicita al alumno la ecuación química, nivel simbólico, correspondiente a la reacción.

Ambos problemas están muy relacionados desde el momento que en ambos hay dos reactivos, uno de ellos está en exceso, hay un solo producto y las moléculas representadas son diatómicas para los reactivos y triatómicas para el producto.

A continuación se detalla el criterio utilizado para categorizar las respuestas en este problema cualitativo:

- 1) **Excelente comprensión:** Estas respuestas incluyen la ecuación  $X_2 + 2Y_2 \rightarrow 2XY_2$  y las justificaciones que indiquen: reactivos, productos, que el exceso no debe tenerse en cuenta y que la ecuación representa la menor proporción.
- 2) **Buena comprensión:** Son respuestas que incluyen la ecuación anterior o un múltiplo de la misma y al menos una justificación.
- 3) **Comprensión parcial:** Respuestas que incluyen el exceso de reactivo y alguna justificación.
- 4) **Algún conocimiento o comprensión parcial con errores:** Respuestas como las de la categoría anterior pero con incongruencias entre la ecuación y la explicación; respuestas con exceso de reactivo pero sin justificar o alguna explicación sin ecuación.
- 5) **No hay comprensión:** No responde; respuestas con errores graves.

Para el problema conceptual, los resultados sobre los 70 alumnos fueron:

| Categoría       | 1 | 2 | 3  | 4  | 5  |
|-----------------|---|---|----|----|----|
| Núm. de alumnos | 0 | 2 | 19 | 10 | 39 |

Las opciones elegidas (para el total de 70 alumnos):

| Opción          | a | b | c  | d | e | f  |
|-----------------|---|---|----|---|---|----|
| Núm. de alumnos | 6 | 3 | 21 | 1 | 1 | 38 |

Un alumno de toda la muestra llegó a la respuesta  $X_2 + 2Y_2 \rightarrow 2XY_2$  (señalando la opción d). Y otro, a través de la c, corrigiéndola, por lo que se lo catalogó como f, llegó a la ecuación  $2X_2 + 4Y_2 \rightarrow 4XY_2$ . En ambos casos la justificación fue pobre. A continuación presentamos algunos comentarios sobre las respuestas. Las opciones **a, b, c, e** describen por sí mismas los errores:

**a)** Indica una falla en el reconocimiento de moléculas. Los que eligieron esta opción en general centraron su atención en la conservación del número de átomos de cada elemento. Obtienen un producto por adición de todos los átomos del estado inicial.

**b)** Elegirla implica un error más grave. No hay conservación del número de átomos de cada elemento; falla en el reconocimiento de moléculas.

**c)** Implica que se conserva el número de átomos de cada elemento; el alumno reconoce las moléculas, excepto las de  $Y_2$  en el estado final. Uno de los alumnos escribió que se forman nuevos elementos y otro, que los subíndices indican número de moléculas. 21 alumnos eligieron esta opción (con 4Y). Los que la corrigieron, cambiando 4Y por  $2Y_2$  se catalogaron como f).

**d)** Es la opción correcta.

e) Esta opción podría confundirse con una correcta (múltiplo de  $d$ ) pero se han intercambiado los átomos de los distintos elementos en el producto, por lo que la ecuación no queda balanceada. Éste parece ser el caso de la única alumna que eligió esta opción (confundió X con Y). Si fue así falló al no verificar.

f) Aquí se incluyó la opción  $c$  corregida, que llega a la respuesta  $2X_2 + 4Y_2 \rightarrow 4XY_2$ . En este grupo se incluyeron: 19 opciones  $c$  corregidas que llegan a expresiones con exceso de reactivo; 18 opciones  $c$  corregidas, pero con incongruencias entre la explicación y la ecuación, o bien los que dan una cierta explicación pero no dan la ecuación química y viceversa o la ecuación de otra reacción.

Si se consideran aceptables las respuestas hasta comprensión parcial inclusive, los resultados, sobre 70 alumnos, indican que 46 pudieron resolver el problema habitual de ecuación química y estequiometría (46P+), 21 pudieron resolver el problema conceptual (21 C+) y 28 resolvieron bien el problema habitual y mal, el conceptual (28 P+C-).

Las opciones del problema conceptual seleccionadas por los alumnos de resultado P+C- fueron:

| Opción          | a(-) | b(-) | c(-) | e(-) | f(-) |
|-----------------|------|------|------|------|------|
| Núm. de alumnos | 1    | 0    | 11   | 1    | 15   |

Los 15 alumnos del grupo  $f(-)$  fallaron por: incongruencias entre la explicación y la ecuación química (6), donde uno de ellos consideró resolver el problema habitual de ecuación química (4); no escribir o señalar la ecuación química (2); y por mostrar otras fallas (3).

Como ejemplo se transcriben algunas respuestas textuales de este grupo P+C-:

**1) Seleccionó a):** «Porque una vez finalizada la reacción, los átomos de los distintos elementos se combinan de manera diferente (sin perder ninguno de ellos) formando nuevas moléculas y un compuesto nuevo con propiedades particulares.»

**2) Seleccionó c):** « $X_2$  porque el subíndice 2 me está indicando que el elemento X está formado por dos moléculas.  $6Y_2$  porque el subíndice me muestra la cantidad de moléculas que tiene ese elemento en estado libre y balanceado para equilibrar tanto el reactivo como el producto.  $4XY_2 + 4Y$ : mantengo lo anterior y además está acorde con el dibujo empleado.»

**3) Seleccionó f):** « $6 Y_2 + 6 X_2 \rightarrow 12 YX$ .»

Enseñar estequiometría casi exclusivamente a un nivel simbólico, aunque se haga referencia a los otros niveles, impide una comprensión acabada de los conceptos. Esquemas pictóricos como el dado ayudan a entender cómo escribimos las ecuaciones químicas y por qué. Hecho este enlace con el nivel microscópico, el correspondiente al macroscópico se facilitará y comprenderá realmente.

Ya sea que se comience con un nivel de significación para arribar a otro, o se den en forma simultánea, se hace evidente

que la incorporación de representaciones en el nivel microscópico, cuando se explican ecuaciones químicas, ayudará a captar rápidamente el cambio y las proporciones que constituyen lo esencial de la ecuación química. Sin embargo, se deberá estar alerta y tener en cuenta las carencias que implican los dibujos en el plano del papel. El docente debe destacar, al hacer estas representaciones, que la reacción está ocurriendo en un único recipiente y debe relacionar este hecho con la ecuación química y el nivel macroscópico.

Captar el significado de la ecuación química y poder visualizarlo ayudará más adelante a comprender que la ecuación balanceada no significa necesariamente que la reacción ha de completarse. Algunas reacciones se producen casi instantáneamente, otras se completan después de un tiempo apreciable y finalmente otras sólo progresan hasta un cierto punto, incluso después de un tiempo infinito. Pero hay una interpretación común a todas las ecuaciones balanceadas: la reacción tiene lugar en la relación descrita por la ecuación. La incorporación de representaciones en el nivel microscópico, cuando se explican ecuaciones químicas, ayudará a captar rápidamente el cambio y las proporciones que constituyen lo esencial de la ecuación química.

También sería interesante enseñar a los alumnos a justificar sus respuestas. Es común que se dé más importancia a la respuesta correcta que al modo específico de razonamiento.

## Concentración de disoluciones

Durante la tercera semana del curso de nivelación, los alumnos practican la resolución de muchos problemas y ejercicios que consisten en expresar la concentración de disoluciones en diferentes formas. Al margen de realizar correctamente o no los cálculos, ¿son capaces de efectuar relaciones entre los niveles real, matemático y microscópico? Siguiendo el mismo esquema de trabajo que se utilizó para las ecuaciones químicas y estequiometría, se planteó un problema habitual (P) de conversión entre distintas formas de expresar la concentración de una misma solución. Estrechamente relacionado a éste, se planteó el problema conceptual (C), proponiendo la búsqueda de la misma disolución a través de diagramas pictóricos con cantidad de partículas por unidad de volumen de disolución.

Los resultados obtenidos, para el problema tradicional, agrupados por categorías, fueron:

| Categoría       | 1 | 2  | 3  | 4 | 5  |
|-----------------|---|----|----|---|----|
| Núm. de alumnos | 7 | 27 | 11 | 7 | 18 |

Para el problema cualitativo, se indican los resultados en la siguiente tabla:

| Categoría       | 1 | 2 | 3 | 4  | 5  |
|-----------------|---|---|---|----|----|
| Núm. de alumnos | 3 | 6 | 0 | 22 | 39 |

Sobre los 70 alumnos, considerando como aceptables las respuestas hasta la categoría 3 inclusive, 45 resolvieron

bien el problema tradicional (**45P+**), 9 resolvieron bien el problema conceptual (**9C+**) y 39 resolvieron bien el problema habitual y mal, el conceptual (**39P+C-**).

Se puso de manifiesto el trabajo a un nivel casi exclusivamente simbólico-matemático, con grandes dificultades para establecer por sí mismos la conexión con el nivel microscópico.

Leyes de gases

Los alumnos manifestaron que las dificultades con los problemas conceptuales se debían a que les resultaba difícil pensar en términos de átomos y moléculas. En consecuencia se pensó elaborar un problema conceptual con la idea de no incorporar necesariamente una representación al nivel microscópico, tanto en el enunciado como en la resolución. Por ejemplo, para el primer problema del par, se propuso hallar el volumen que ocupará un gas a una determinada presión, dados los correspondientes datos de presión y volumen iniciales a temperatura constante. El segundo problema fue una representación visual a nivel macroscópico de una situación análoga a la del primer problema: un cilindro con émbolo móvil, que contenía un gas a una determinada presión inicialmente, al que luego se le agregó peso sobre el émbolo y se preguntó, a nivel cualitativo, qué ocurría con la presión del gas en la situación final (siempre a temperatura constante).

Los resultados, clasificados por categorías, para el primer problema del par, se muestran a continuación:

| Categoría       | 1 | 2  | 3 | 4 | 5  |
|-----------------|---|----|---|---|----|
| Núm. de alumnos | 0 | 53 | 3 | 0 | 14 |

Para el segundo problema del par:

| Categoría       | 1 | 2  | 3 | 4 | 5  |
|-----------------|---|----|---|---|----|
| Núm. de alumnos | 3 | 27 | 3 | 8 | 29 |

Del total, solamente 8 alumnos incorporaron, bien o mal, interpretaciones microscópicas al justificar el problema conceptual.

Los resultados indican que, sobre 70 alumnos, 56 pueden resolver el problema habitual de gases (**56P+**), 33 resolvieron el problema conceptual (**33C+**) y 27 resolvieron bien el problema cuantitativo y mal, el cualitativo (**27P+C-**).

Difusión gaseosa

Para el tema de gases se presentó además un problema habitual que involucró la ley de Graham. Cabe preguntarse si los alumnos serán capaces de reconocer en un sistema el efecto de la diferencia de velocidades moleculares. En esto se basó el problema conceptual, con representaciones a nivel microscópico.

Para el problema cuantitativo se obtuvieron los siguientes resultados:

| Categoría       | 1  | 2 | 3 | 4 | 5  |
|-----------------|----|---|---|---|----|
| Núm. de alumnos | 22 | 6 | 0 | 1 | 41 |

Para el problema cualitativo:

| Categoría       | 1 | 2 | 3 | 4  | 5  |
|-----------------|---|---|---|----|----|
| Núm. de alumnos | 1 | 7 | 2 | 13 | 47 |

Del total de 70 alumnos, 28 alumnos pudieron resolver bien el primer problema del par (**28P+**), 10 resolvieron bien el problema conceptual (**10C+**) y 20 alumnos consiguen resolver aceptablemente el primer problema del par y resuelven mal el segundo (**20P+C-**), siempre considerando como mal las categorías 4 y 5.

OTRAS OBSERVACIONES Y RESUMEN DE RESULTADOS

Es interesante analizar los resultados obtenidos para dos grupos de alumnos, considerados como superior e inferior (Sawrey, 1990). Para distinguirlos tomamos como referencia la calificación final que obtuvieron en la materia. Esta calificación se basa en los resultados de las evaluaciones de trabajos prácticos y de los parciales. Entonces, la muestra original de 70 alumnos se separó en dos grupos correspondientes al 27% mejor calificado y el otro formado por el 27% que obtuvo peor calificación final. Se contó, dentro de cada grupo, el número de alumnos que pudo resolver bien el problema conceptual y el que pudo resolver bien el problema habitual, y se expresó como porcentajes. En la tabla que sigue se dan los porcentajes de éxito en la resolución de cada tipo de problema para todos los temas del presente estudio.

|                                      | % éxito<br>Problema<br>tradicional | % éxito<br>Problema<br>conceptual |
|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Estequiometría</b>                |                                    |                                   |
| Toda la muestra                      | 65,7                               | 30,0                              |
| El 27% superior                      | 94,7                               | 52,6                              |
| El 27% inferior                      | 36,8                               | 10,5                              |
| <b>Concentración de disoluciones</b> |                                    |                                   |
| Toda la muestra                      | 64,3                               | 12,9                              |
| El 27% superior                      | 84,2                               | 15,8                              |
| El 27% inferior                      | 52,6                               | 5,3                               |
| <b>Leyes de gases</b>                |                                    |                                   |
| Toda la muestra                      | 80,0                               | 47,1                              |
| El 27% superior                      | 94,7                               | 63,2                              |
| El 27% inferior                      | 63,2                               | 26,3                              |
| <b>Difusión gaseosa</b>              |                                    |                                   |
| Toda la muestra                      | 40,0                               | 14,3                              |
| El 27% superior                      | 84,2                               | 26,3                              |
| El 27% inferior                      | 5,3                                | 0                                 |



Lógicamente, los resultados para toda la muestra coinciden con los ya presentados. Puede verse que, en general, los alumnos del grupo superior resolvieron con mayor porcentaje de éxito, tanto los problemas habituales como los conceptuales, que los del grupo inferior. Es notoria la diferencia de logro entre ambos tipos de problemas (el habitual y el conceptual, en desmedro del último) y es de destacar que esto ocurre aun con los alumnos del grupo superior.

Para verificar, en toda la muestra, la significancia de las diferencias entre los logros en la pregunta conceptual y su contraparte, el problema habitual, se realizó una prueba de McNemar, prueba no paramétrica para dos variables dicotómicas relacionadas. Esta prueba compara los cambios en las respuestas usando la distribución  $\chi^2$ . De acuerdo a lo ya visto en la descripción del estudio, se trabajó siempre con la misma muestra de 70 alumnos. El valor P asociado a la prueba fue, en todos los casos:  $P < 10^{-3}$ , altamente significativo.

## CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Los modelos citados con anterioridad pueden ser de gran valor para identificar fuentes de dificultad en el aprendizaje de conceptos.

Veamos primero dónde estamos situados con el grupo que efectuó las pruebas. El modelo responde a un sistema tradicional, el mismo en el que fueron educados sus docentes. Se pretende la adquisición y reproducción por parte del alumno de un conjunto de conocimientos que se brindan como productos acabados.

Se dictaron clases teóricas, pero quedó librado a los alumnos su estudio, con poco control por parte de los docentes de lo que pensaban o de cómo estaban construyendo su conocimiento.

Durante el ciclo lectivo, tanto docentes como alumnos centraron la atención principalmente en la resolución de problemas cuantitativos. Quedaba implícito que los estudiantes comprenderían por sí mismos los conceptos e integrarían los distintos niveles, aunque se hubieran hecho escasas referencias al nivel microscópico.

Es notoria, a partir de este estudio, la existencia de una brecha entre los problemas cuantitativos y cualitativos.

En las respuestas textuales de los problemas cualitativos (aquí se mencionaron sólo algunas), se evidenciaron grandes dificultades conceptuales y fueron muchos los alumnos que resolvieron correctamente los problemas tradicionales sin entender los conceptos químicos.

Pozo y Gómez Crespo (1998) hacen notar que en los problemas cuantitativos generalmente aparecen superpuestos los problemas científico y matemático, de tal manera que muchas veces el último enmascara al primero.

Llega un momento en que los docentes inmersos en un sistema similar tomamos conciencia de que los alumnos

realmente no entienden tan bien y nos preguntamos por causas diferentes a las ya tan utilizadas (no están preparados, no tienen interés, no estudian).

El presente trabajo pretende provocar esa reflexión y la búsqueda para conseguir una mejor comprensión.

¿Qué nos dice la investigación educativa? Nos proporciona modelos, teorías y propuestas que orientan nuestro pensamiento. Así por ejemplo:

– Para Ausubel, el problema de la enseñanza tradicional no está tanto en el enfoque expositivo sino en el manejo inadecuado de los procesos de aprendizaje.

A nuestro entender, es la posición más próxima para quien proviene del sistema tradicional.

Nos lleva a explorar la estructura conceptual, evitando la confusión con el aprendizaje repetitivo.

Dos instrumentos valiosos son los mapas conceptuales y la uve de Gowin.

Para facilitar la incorporación de nuevos conocimientos a la estructura cognitiva de manera no arbitraria y sustantiva Ausubel propuso el uso de organizadores avanzados, que sirven como puente entre lo que ya se sabe y lo que se debe aprender. Las analogías podrían cumplir esa función.

– Muchos estudios revelaron que los estudiantes traen conceptos, ideas y explicaciones que difieren de los mantenidos por la comunidad científica. Este conocimiento es construido activamente por los estudiantes. Las ideas previas no son fáciles de cambiar porque resultan adecuadas para interpretar algunas parcelas de la realidad. Una búsqueda bibliográfica nos sorprende con la cantidad de *misconceptions* registradas. La propuesta de cambio conceptual permite preguntarnos en qué forma encuentra el alumno inteligible un concepto, por qué lo juzga plausible, qué lo motiva a adherirse a una idea.

Hay acuerdo creciente en que el conocimiento intuitivo no debería ser sustituido sino trascendido.

Problemas cualitativos semejantes a los que se utilizaron en este trabajo podrían ser instrumentos muy útiles para investigar la comprensión y la existencia de *misconceptions*. Dado que despiertan gran interés, resultarían adecuados para promover debates en clases, suministrando una rápida evaluación y retroalimentación sobre el aprendizaje.

– Los docentes percibimos que el conocimiento de los alumnos es fragmentado y que la disociación y fragmentación se encuentra en la forma misma de dictado de la materia.

Daniel Gil cuestiona la separación tradicional entre prácticas, resolución de problemas y teoría y ofrece alternativas de integración concretas. Defiende la conveniencia de plantear el aprendizaje de ciencias como una

investigación dirigida de situaciones problemáticas de interés. De esta manera, el cambio conceptual adquiere un carácter instrumental y deja de ser un objetivo en sí mismo. (Campanario y Moya, 1999)

– El modelo de procesamiento de la información nos obliga a formular preguntas:

Si la filtración es idiosincrática, ¿cómo filtra cada alumno lo que le proveemos?

Si el espacio de trabajo es limitado, ¿cómo puede utilizarse más eficientemente? ¿No lo estamos sobrepasando?

¿Formará el alumno redes alternativas cuando trate de relacionar y enlazar a la memoria permanente los conceptos en los niveles macro, micro y simbólico?

Según Gabel (1999), los patrones de pensamiento existentes en la memoria a largo plazo pueden presentarse mediante mapas conceptuales. Los novatos en un área tienen mapas conceptuales muy simples y pueden tener *misconceptions*. Los expertos en el campo tienen mapas complejos y bien conectados. Cuando una parte del mapa es asociado con un estímulo externo, el experto se informa de un número grande de conceptos relacionados.

Alguna evidencia de esto se tiene al observar cómo resuelven problemas. Los expertos no sólo tienen muchos más

algoritmos que los novatos, sino que utilizan más heurísticos y controlan cuidadosamente su comprensión. Han organizado en su memoria redes conceptuales jerárquicamente bien ordenadas, con diseños significativos que facilitan la recuperación. El dominio de los conceptos favorece la transferencia del aprendizaje a problemas nuevos.

Un estudiante percibirá como difícil una tarea que implique un gran contenido de información mientras su comprensión del concepto sea escasa, porque estará limitado por su espacio de trabajo. Lo que se expande es la medida de lo que constituye una unidad y esta expansión depende de la comprensión conceptual del estudiante (Johnstone, 1997).

En relación a nuestro trabajo, consistió en un diagnóstico, que se centró en las dificultades de los alumnos. Hemos incorporado algunos puntos de vista sobre enseñanza de las ciencias en los que se pueden encontrar tanto aportes valiosos como dificultades. Se pretende que cada docente valore lo que ocurre en su propio ámbito y contribuir con este análisis a investigaciones que sepan afrontar los obstáculos para lograr una enseñanza más eficaz.

## AGRADECIMIENTO

A la profesora Stella Maris Vaira por su asesoramiento en la parte estadística.

[Artículo recibido en noviembre de 2002 y aceptado en agosto de 2003]

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPANARIO, J. y MOYA, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), pp. 179-192.
- GABEL, D. (1999). Improving teaching and learning through Chemistry Education Research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), pp. 548-554.
- JASIEN, P. y OBEREM, G. (2002). Understanding of elementary concepts in heat and temperature among college students and K-12 teachers. *Journal of Chemical Education*, 79(7), pp. 889-895.
- JOHNSTONE, A. (1997). Chemistry teaching. Science or Alchemy? *Journal of Chemical Education*, 74(3), pp. 262-268.
- LIN, H., CHENG, H., y LAWRENZ, F. (2000). The assessment of students and teachers' understanding of gas laws. *Journal of Chemical Education*, 77(2), pp. 235-238.
- MAZUR, E. (1997). *Peer Instruction*. Upper Saddle River, Nueva Jersey: Prentice Hall.
- MOORE, J. (2002). Teaching for understanding. *Journal of Chemical Education*, 79(7), pp. 775.
- MULFORD, D. y ROBINSON, W. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester General Chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 79(6), pp. 739-744.
- NURRENBERN, S.C. y PICKERING, M.. (1987). Concept learning versus problem solving: Is there a difference? *Journal of Chemical Education*, 64(6), pp. 508-510.
- PERREN, M. A. (2001). «Comprensión de conceptos y resolución de problemas en química». Tesis de maestría. Santa Fe (Argentina).
- POZO MUNICIO, J.I. y GÓMEZ CRESPO, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- SAWREY, B.A. (1990). Concept learning versus Problem Solving: Revisited. *Journal of Chemical Education*, 67(3), pp. 253-254.